

Lärdomar från några "energiprojekt" under 40 år

Sedan oljekrisen 1973 har åtskilliga försök gjorts i småhus för att minska energianvändningen, förbättra inomhusmiljön, minska miljöutsläppen och sänka livscykelkostnaderna. Sätten att bygga och de installationer som används har blivit alltmer komplexa och svårskötta. Nya material, konstruktioner och installationer förekommer i ökad utsträckning i serieproduktion utan att tillräckligt omsorgsfullt ha testats och utvärderats innan produktionsstart. Många bakslag har konstaterats i sökandet efter mer eller mindre fantasifulla lösningar. Detta har gett samhället, husägare och boende dyrköpta misstag och kostbara negativa erfarenheter.

Byggbranschen har de senaste decennierna skakats av många skandaler som enstegstättade putsfasader, byggfelsförsäkringar med många undantagsregler och med utebliven ersättning vid skador, luftvärme med hög energianvändning och komfortstörningar samt dyrbar, energislösande och trög golvvärme. Därtill ska läggas problem med stora glasytor i form av energiökningar, större effektuttag och komfortstörningar, särskilt när varmare saknas under fönstren. Det saknas i stort sett uppföljning av hus som byggts under 2000-talet och man kan undra varför. De få undersökningar som gjorts bland annat i Bo92, Bo01 och flera passivhusområden visar emellertid på avsevärt högre uppmätt energianvändning än beräknat.

Utlödade besparingar har ofta helt eller delvis uteblivit. Jämförelser mellan olika tekniska lösningar uppvisar stora skillnader i till exempel energianvändning och inomhusmiljö etcetera. Offentlig

statistik från *Energimyndigheten* (2012) och *SCB* (2012), *tabellerna 1 och 2*, visar att det hittills i verkligheten har varit mycket svårt att minska bostadssektorns energianvändning samtidigt som byggkostnaderna kraftigt har skjutit i höjden.

Denna artikel har avgränsats till att omfatta nya småhus med exempel på goda och dåliga lösningar. Erfarenheterna är i princip tillämpliga för hela bostadsbeståndet. Artikeln visar dessutom på nödvändigheten av en ändrad uppläggning och inriktning på forsknings- och utvecklingsarbetena. Ledstjärnor bör vara helhetsgrepp och systemtänkande, mer praktisk förankring av genomförande och resultat samt av systematisk erfarenhetsåterföring. I framtiden måste man generellt dra mer lärdom av gjorda erfarenhe-

ter än hittills. Kunskap finns, men används inte i tillräcklig utsträckning.

Uteblivna besparingar

Trots att snart 40 år har gått sedan oljekrisen 1973 har man i Sverige inte kommit särskilt långt inom bostadssektorn när det gäller att minska energianvändningen och skapa ett bra inomklimat. Angivna energippgifter i denna artikel avser elenergi, där inget annat sägs. Läsaren kan sedan själv räkna om energippgifterna till primär energi med aktuella omräkningsfaktorer.

Uppgifter hämtade från *Energimyndigheten* (2012) och *SCB* (2012), *tabellerna 1 och 2*, visar att den genomsnittliga specifika totala energianvändningen för byggnadsuppvärmning, varmvatten och

Tabell 1: Genomsnittlig användning av olja respektive el per kvadratmeter sammanlagd uppvärmd yta. Småhus uppvärmda med enbart olja respektive enbart el. Källa: SCB (2012).

	Alla småhus	Byggår									2001–	Okänt
		–1940	1941–1960	1961–1970	1971–1975	1976–1980	1981–1985	1986–1990	1991–2000			
Småhus ¹												
Enbart oljeuppvärmning (l/m ²)												
1995	21	23	22	19	15	18	–	–				–
1996	20	23	22	18	16	15	..	..				–
1997	18	19	20	18	15	15	..	..				–
1998	22	24	23	21	19	16	..	..	..			–
1999	21	23	23	20	18	17	–	..	..			–
2000	20	21	22	22	18	17	17	..	..			–
2001	20	22	21	20		17				19		–
2002	20	21	22	18		17		22		15		–
2003	19	21	20	17		15		16		14		22
2004	20	21	22	18		20		16		25		–
2005	19	19	21	18		17		17	–	–	–	–
2006	20	20	22	19		14		..	..	..	–	–
2007	20	21	21	17		19		..	..	..	–	–
2008	19	20	21	18		15		..	–	–	–	–
2009	19	21	17	12		..		..	–	–	–	–
2010	20	21	21	18		17		23	–	–	–	–
Enbart eluppvärmning (kWh/m ²) ¹												
1995	144	165	173	151	134	133	141	123				–
1996	159	185	177	160	151	147	155	140				–
1997	160	196	186	170	147	148	147	137				–
1998	158	187	202	169	153	140	148	133	125			–
1999	156	185	194	161	142	141	154	133	133			–
2000	154	178	183	164	144	141	148	134	123			–
2001	156	187	180	164		142	142		144			–
2002	157	183	190	164		147	143		130			–
2003 direktverkande vattenburen	147	175	179	151		140	139		147			178
	160	190	184	165		146	144		128			186
2004	154	184	194	154		143	140		135			–
2005	150	178	185	149		139	142	135	120			–
2006	139	173	160	137		130	133	134	116			–
2007	132	155	159	141		121	128	121	102			–
2008	130	153	157	136		122	122	115	104			–
2009 ²	140	184	176	138		130	128	134	107			–
2010	140	168	165	144		131	134	129	121			–

Sveriges officiella statistik

1) Exkl. småhus på lantbruksfastighet t.o.m. 2004. Inkl. småhus på lantbruksfastighet fr.o.m. 2005.

2) Fr.o.m. 2009 inkl. hushållsel.

Anmärkning: Ny byggårsindelning från 2001.

Källa: SCB t.o.m. 2008, fr.o.m. 2009 Energimyndigheten, energistatistik för småhus (urvalsundersökning).

Artikelförfattare är
**Christer
Harrysson,**
professor, Örebro
universitet.



hushållsel för elvärmda småhus byggda före 1970-talet ligger inom intervallet cirka 140 till 160 kWh/m² år. Referenserna visar även att småhus byggda 1970 till 2000 trots skärpta byggregler etcetera har den genomsnittliga specifika totala energianvändningen inom intervallet cirka 120 till 130 kWh/m² år och småhus byggda under 2000-talet cirka 120 kWh/m² år. Den genomsnittliga energianvändningen i småhus byggda efter oljekrisen 1973 har i verkligheten endast minskat med 10 till 25 procent, vilket är ett ganska mediokert resultat av 40 års energiforskning. Starkare samhällsstöd och styrning är nödvändigt samt att främja goda lösningar.

Flera undersökningar som behandlar uppföljning av energianvändning och komfort visar på avsevärt högre energianvändning än beräknad med mer eller mindre allvarliga komfortstörningar. Några orsaker till detta är stora glasytor, värmetröga värmesystem som golvvärme, oväntat stora kanalförluster, styr- och reglerförluster exempelvis i samband med luftvärme och FTX-ventilation. Generellt sett kan dessa problem sägas bero på brister i samspelet projektörer-byggare-förvaltare-boende-byggnad-installationer etcetera.

Ett av många exempel är ekobyen Understenshöjden med 44 radhus i två plan byggda 1995, *Bengtsson* (2000). Den genomsnittliga specifika totala energianvändningen blev 300 kWh/m² år mot beräknat 140 kWh/m² år. Efter ombyggnader har energianvändningen dock sjunkit till cirka 200 kWh/m² år. För vissa byggnadstyper och husområden till exempel Bo01, är energianvändningen till och med högre än för äldre hus. Bo01 utgörs av tio fastigheter (flerbostadshus), *Harrysson* (2009, 2010). Kravet var att husen skulle ha en specifik total energianvändning för byggnadsuppvärmning, varmvatten, fastighetsel och hushållsel på högst 105 kWh/m² år. Beräknade värden låg mellan 77 och 107 kWh/m² år. Uppmätta värden ligger alla över 105 kWh/m² år. Medel-

värdet för hus utan värmeåtervinning uppgår till 186 kWh/m² år och med värmeåtervinning 127 kWh/m² år.

I till exempel Bo92, *Ahnland* (1996), *Cajdert* (1999, 2000) uppmättes i medeltal för de 26 småhusen totalt 147 kWh/m² år för byggnadsuppvärmning, varmvatten och hushållsel mot beräknat 100 kWh/m² år. I Bo92 var uppgiften att utforma ett område med vackra, energisnåla och sunda småhus. Resultaten blev helt annorlunda och mycket nedslående. Flera tekniska installationer var så avancerade att sköta att man tvingades ersätta dem med andra mer lättsköta. I efterhand fick man hänga på elradiatorer för att husen överhuvudtaget skulle vara beboeliga. Ombyggnadskostnaderna, som Örebro kommun fick stå för, uppgick till 50 miljoner kronor. Den genomsnittliga totala energianvändningen för byggnadsuppvärmning, varmvatten och hushållsel för småhus byggda vid denna tidpunkt var 120 till 130 kWh/m² år. Det fanns goda lösningar som redan då uppvisade 90 till 100 kWh/m² år, *Harrysson* (1994). Man kan verkligen fråga sig varför energianvändningen blivit så hög och inomhusmiljöproblemen så stora i Bo92 trots assistans bland annat från Rikumas vetenskapliga råd.

Stora variationer mellan olika hus

Stora variationer i energianvändning och inomhusmiljö förekommer såväl mellan nominellt lika som olika hus. Många faktorer inverkar på energianvändningen. Störst inverkan har i tur och ordning boendevanorna och arbetsutförandet, *Harrysson* (1988). För nominellt lika småhus och med ett medelvärde för den totala energianvändningen, summan av byggnadsuppvärmning, varmvatten och hushållsel, kring 15 000 kWh/år, kan skillnader i boendevanor uppgå till cirka 10 000 kWh/år mellan låg- och högförbrukare. Skillnader i kvaliteten på arbetsutförandet inkluderande injustering av värme- och ventilationssystemen kan medföra variationer på cirka 5 000 kWh/år. Observera

att de olika delposterna inte okritiskt kan adderas.

Uppgifter om uppmätt energianvändning i nya småhus saknas ofta
Intresset för att följa upp nya serieproducerade hus tycks saknas helt. Branschen bygger bara vidare med en strid ström av allt fler oprövade nya material och konstruktioner. Uppgifter om uppmätt energianvändning saknas i stort sett för nya serieproducerade hus, men finns däremot för ett antal enstaka provhus, vilka tekniskt sett kan vara mycket olika. I regel är det enstaka provhus som följts upp med avseende på energi och inomhusmiljö med mera. Det är svårt att utvärdera och generalisera resultaten från enstaka hus och människor eftersom bland annat boendevanorna och kvaliteten på arbetsutförandet kraftigt kan påverka energianvändningen, *Harrysson* (1988).

Halverad energianvändning möjlig

Framgångsfaktorer för ett bättre byggande är med andra ord helhetsgrepp och systemtänkande inkluderande uppföljning av byggda hus. Erfarenheter visar emellertid att en halvering av bostadssektorns energianvändning är möjlig jämfört med vanligen byggda hus, men det kräver ett helt annat angreppssätt vid projektering, byggande och förvaltning än hittills. Eftersom nyproduktionen av bostäder utgör mindre än en procent av det befintliga beståndet måste energisparandet framöver fokuseras på befintliga byggnader.

Det finns goda tekniska lösningar, dokumenterade sen 1980-talet, som visar att rätt val av teknisk lösning kan minska energianvändningen med ytterligare 30 procent jämfört med vanligen byggda hus. En sådan väldokumenterad god lösning karakteriseras av måttlig isolering (cirka 300 mm i vägg och golv samt cirka 500 mm i tak), frånluftsventilation, vattenradiatorer samt frånluftsvärmepump för byggnadsuppvärmning och varmvatten.

De bästa husgrupper byggda under 2000-talet, som finns dokumenterade, har en specifik total energianvändning, summa för byggnadsuppvärmning, varmvatten och hushållsel, kring 70 till 80 kWh/m² år. Av byggda och i litteraturen dokumenterade passivhus har området Lindås Park med tjugo stycken tvåplans radhus, som medelvärde för specifika totala energianvändningen 80 kWh/m² år, varav 69 kWh/m² år inköpt el och 9 kWh/m² år från solfångare, *Ruud & Lundin* (2004). Uppmätta värden har ej normalårskorrigerats. Beräknade värden är 58 kWh/m² år för inre lägenheter och 71 kWh/m² år för yttre, *Boström et al* (2003). Uppmätt medelvärde var således 10 respektive 34 procent högre än beräknat.

Uppmätt kontra beräknad energianvändning

Stora avvikelser konstateras ofta mellan

Tabell 2: Genomsnittlig elanvändning (inklusive hushållsel) per kvadratmeter uppvärmd area (inklusive biarea) för småhus år 2011, uppvärmda med enbart el, fördelad efter byggår, MWh/hus och kWh/m².

Källa: Energimyndigheten 2012).

	MWh/hus	kWh/m ²
Samtliga	17,4 ± 0,5	128 ± 4
Byggår		
– 1940 ¹	18,8 ± 1,6	149 ± 15
1941 – 1960	17,8 ± 2,0	138 ± 14
1961 – 1970	18,4 ± 1,6	132 ± 11
1971 – 1980	17,4 ± 0,9	120 ± 6
1981 – 1990	15,9 ± 0,8	121 ± 5
1991 – 2000	16,0 ± 1,2	125 ± 8
2001 –	16,8 ± 1,5	116 ± 10

Anm. Den redovisade skattningen ± tillhörande felmarginal utgör ett 95 % konfidensintervall under antagandet att undersökningsvariabeln är normalfördelad.

¹ Värdet i den första kolumnen på denna rad, 18,8 ± 1,6, skall tolkas som att med 95 procents sannolikhet så användes år 2011 i genomsnitt mellan motsvarande 17,2 och 20,4 MWh el per småhus, byggt år 1940 eller tidigare, som endast kan värmas med elvärme (direktverkande eller vattenburen).

uppmätt och beräknad energianvändning. Uppmätt energianvändning är i regel högre än beräknad. Vanligen använda metoder har sällan validerats för bebodda hus, särskilt inte när det gäller nya hus. Dessa har helt andra värmetekniska egenskaper än äldre hus. Dessutom uppstår ibland oväntade och betydande komfortproblem. Ett allmänt intryck är att nya hus är sämre än förväntat och äldre hus bättre.

Bland annat är i nya hus U-värdena avsevärt lägre, andelen gratisvärme som kan täcka byggnadens uppvärmningsbehov mycket större liksom de momentana värmeförlusterna via glasytor och ventilation. Andelen momentana värmeförluster ökar dessutom på grund av att många nyare hus har förhållandevis stora glasytor jämfört med äldre hus, vilket ökar såväl effekt- och energianvändningen som olika komfortstörningar. Andra förhållanden som svårigen kan beaktas i gängse beräkningsmetoder är att trögheten hos nya värmesystem som golvvärme kan inverka negativt på komforten och öka energianvändningen. Inte heller beaktas i beräkningarna luftvärmesystemens ogynnsamma strömningsbild, centrala styrning av värmetillförseln och mindre gratisvärmeutnyttjande.

Använda beräkningsmetoder utgörs ofta av stora datorprogram. Eftersom energianvändningen påverkas av många faktorer med stora variationer är det svårt att steg för steg följa beräkningsprocessen och bedöma hur olika faktorer inverkar. Skillnaden i energianvändning mellan två beräkningsfall kan vara mindre än de olika delposternas variationer liksom beräkningsnoggrannheten. Några få beräkningsfall med stora och komplicerade beräkningsprogram kan därför vara ett mindre framgångsrikt angreppssätt för att beräkna byggnaders energianvändning. I stället kan enklare beräkningsmetoder vara att föredra, där man stegvis kan följa beräkningarna, studera mellanresultaten samt bedöma olika faktors inverkan på slutresultaten.

Vanliga tekniska lösningar

Med teknisk lösning menas här kombinationen av isolering, tätningar, fönstrens storlek och U-värde, värme- och ventilationssystem, värmeåtervinning med frånluftsvärmepump eller ventilationsvärmeväxlare samt har el eller fjärrvärme som "energislåg". Därtill ska läggas olika husformer som friliggande hus eller sammanbyggda (radhus, kedjehus), en-, två- eller ett och ett halvtplanshus.

Många olika tekniska lösningar förekommer. Ett par av de vanligaste karakteriseras av:

- måttlig isolering: väggar motsvarande cirka 240 mm, tak cirka 500 mm och golv cirka 200 mm, frånluftsventilation, golvvärme och/eller radiatorer samt frånluftsvärmepump för byggnadsuppvärmning och varmvatten

- måttlig isolering, frånluftsv- tilluftsv- ventilation med ventilationsvärmeväxlare (FTX-ventilation), golvvärme och/eller radiatorer samt fjärrvärme eller elpanna

- passivhus med tjock isolering, upp till 450 mm i väggar, 500 till 600 mm i tak, 300 mm i golv, frånluftsv- tilluftsv- ventilation med ventilationsvärmeväxlare (FTX-ventilation) och luftvärme med el eller fjärrvärme som tillskottsvärme.

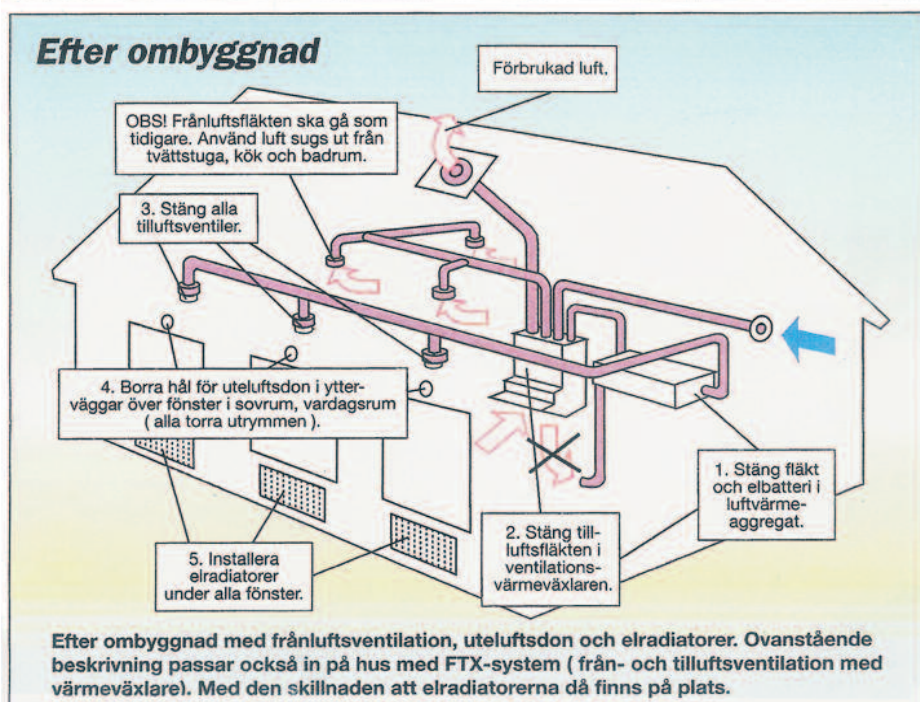
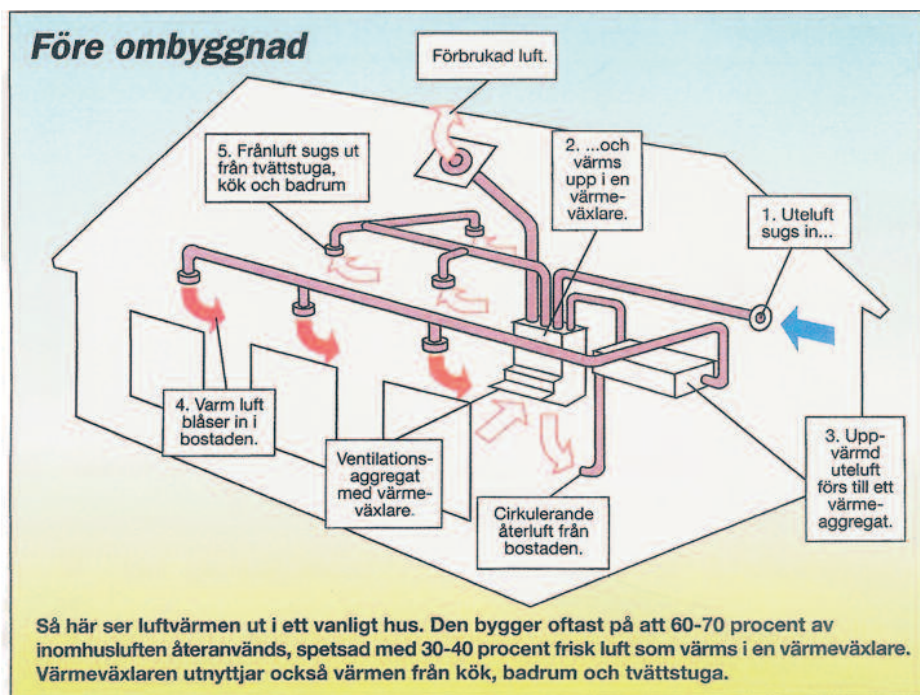
Nedan diskuteras och värderas några olika tekniska lösningar och ingående delar.

Utförande – isolertjocklekar

Noggrant utförande och enkla beprövade lösningar är viktigare än isolertjockleken.

Noggrant utförande av isolering och tätningar tillsammans med injustering av värme- och ventilationssystem kan minska energianvändningen med 5 000 kWh/år eller cirka 30 procent.

Harrysson (1994) har undersökt energianvändning och inomhusmiljö i tio grupp-husområden byggda under 1973 till 1990 med olika tekniska lösningar för isolering, tätning, värme och ventilation. Två av områdena i göteborgstrakten har stora skillnader framförallt i isolertjocklek och arbetsutförandets kvalitet. Det ena området byggt 1973 är beläget i Källered och består av 51 friliggande nominellt lika ett och ett halvtplanshus med 148 m² boarea. Det andra byggt 1980 är beläget i Floda



Figur 1: Har huset gjort mig sjuk? Problemhus med luftvärmesystem och återluft (övre bilden) kan med fördel byggas om för frånluftsv- tilluftsv- ventilation och elradiatorer (undre bilden).

KÄLLA: CHRISTER HARRYSSON

och består av 22 lika ett och ett halvtplans radhus med 136 m² boarea. Husen i Kållerød har fabriksstillverkats som volymelement i bottenvåningen och platsbyggda takstolar i övervåningen medan husen i Floda är platsbyggda. Båda husområdena har kryppgrund och självdragsventilation. Området i Kållerød har tvåglasfönster och direktverkande elradiatorer samt i Floda treglasfönster och vattenburen el. Isolertjocklekarna i Kållerød är i väggar 120 mm mineralull, tak 150 mm och golv 120 mm (de yttersta 600 mm har 220 mm isolering) samt i Floda 340, 440 och 220 mm.

Medelvärde av den totala energianvändningen för byggnadsuppvärmning, varmvatten och hushållsel är för Kållerød 17 955 kWh/år eller specifikt 121 kWh/m² år och för Floda 16 117 kWh/år eller specifikt 119 kWh/m² år. Med andra ord, trots nästan tre gånger så mycket isolering i Floda är den totala energianvändningen endast cirka tio procent lägre. Uppmätt total energianvändning är cirka 25 procent högre än beräknad efter olika korrigeringar i Floda och cirka tio procent lägre än beräknad i Kållerød. Slutsatsen är därmed att arbetsutförandets kvalitet och värmesystemets reglernoggrannhet är bland förklaringarna till de goda resultaten i Kållerød. Husen i Kållerød är dessutom friliggande småhus medan husen i Floda är radhus. Området i Kållerød har cirka 15 till 25 procent lägre specifik total energianvändning, 121 kWh/m² år, än genomsnittligt för småhus byggda cirka 1970, cirka 140 till 160 kWh/m² år.

Sörensen (1981) har undersökt hur energianvändningen påverkas vid tilläggsisolering. Ursprungligen undersöktes 350 hus, men av olika skäl reducerades under arbetets gång antalet hus till 83. Energi-användningen följdes under flera år varvid kunde konstateras att första årets uppmätta energibesparing uppgick till 25 procent och andra årets 58 procent av teoretiskt beräknat. Energibesparingen har beräknats som produkten av skillnad i U-värde, yta och gradtimmar. Skillnaden mellan första och andra året uppges bero på att man under första året tillgodogjort sig en högre komfort och innetemperatur. Detta justerades genom ändrade vanor med mera till år två. Andra förklaringar till att den verkligt uppmätta besparingen är så mycket lägre än den beräknade kan vara brister i arbetsutförandet, att man efter tilläggsisolering inte beaktat en kortare uppvärmningssäsong och minskat gratisvärmeutnyttjande. Säkerhetspåslagen i U-värdet för att täcka normala arbetsutförandebrister kan också vara för små.

Luftvärme och FTX-ventilation

Äldre luftvärmesystem med återluft

Värmevaletkampanjen. Luftvärme är ett kombinerat värme- och ventilationssystem som i småhus byggda under slutet på

1900-talet har återluft, *figur 1*. Vanligaste donplaceringar är ventiler i eller nära tak. I brist på argument för denna placering motiverar förespråkarna placeringen med lägre installationskostnader och att "varm luft stiger neråt" enligt den så kallade "bassängteorin"!

I början på 1980-talet lanserades Värmevaletkampanjen av en grupp företag, däribland Rockwool, Pilkington och Husqvarna. Konceptet karakteriserades bland annat av tjock isolering, energieffektiva fönster och luftvärme med återluft. Förespråkarna påstod i marknadsföringen att husen skulle ha så litet värmebehov att de kunde värmas upp enbart med några stearinljus. Hur stora stearinljusen skulle vara uppgav man dock inte!

Riquma/Bo92 med mera. Under 1980- och 1990-talen marknadsfördes luftvärmen främst av dåvarande Riquma med dess ägare Curt Wrigfors, på senare tid mest känd från TV4:s program Fuskbygarna. Marknadsföringen av luftvärmen var aggressiv och KO-anmälades av framtidne energidoktorn Stig Jahnsen, Eksjö. Konsumentombudsmannen (KO) fällde företaget för vilseledande marknadsföring, vilket bland annat ledde till att stora upplagor huskataloger måste dras in. "Det handlar om desinformation, eller lögn på ren svenska" enligt Stig Jahnsen.

Curt Wrigfors hade till sin hjälp i marknadsföringen av Bo92 med mera engagerat ett vetenskapligt råd bestående av professorer och experter från flera universitet och institut med flera. Trots det blev byggfelen många, inom miljön mycket dålig och energianvändningen hög. Riquma och dess ägare Curt Wrigfors gick i konkurs 1991 lagom till Bo92 i Örebro, där företaget gjort en satsning med 26 småhus som har luftvärme och återluft. Flera i Riquamas vetenskapliga råd anser dock fortfarande att luftvärme har framtiden för sig.

Konstaterade problem. Minst 20 till 30 procent av de cirka 30 000 byggda småhusen med luftvärme uppvisar betydande problem för de boende än idag. Luftvärmens branta uppgång på marknaden slutade emellertid med ett snabbt fall då Boverket 1994 förbjöd luftvärme med återluft. Boverkets förbud har sedermera tyvärr till stora delar luckrats upp.

Luftvärme kan, *figurerna 1 och 2*, ge problem som:

- Risker för övertryck inne som kan orsaka fukt- och mögelskador i klimatskärmen på grund av fuktkonvektion.
- Förorena(n)de tilluftskanaler med risk för nedsmutsning av tak, väggar och golv inne samt ohälsa för de boende, *figur 2*.
- Luften värms upp av heta ytor. Vid elbatteriet kan det bli 400 till 500 °C. Damppartiklar som förbränns i kontakt med de heta elementen ger dålig luftkvalitet.
- Rumstemperaturen bestäms av en enda termostat, även i tvåplanshus. Detta med-



Figur 2: Föroreningar i luftvärmesystem.

Överst: Invändiga föroreningar i tilluftskanal av plåt. Mittbilden: Återluftskanal av träfiberskiva med invändig mineralull i innervägg. Nederst: Stora mängder finkornigt cementpulverliknande damm på luftvärmesaggregatets finfilter.

KÄLLA: CHRISTER HARRYSSON

för komfortskillnader inom och mellan olika rum samt mellan våningsplan, vilket medför ökat energibehov.

- Besvärande lågfrekvent buller har konstaterats från fläktar, särskilt i sovrum.
- Komfortproblem förekommer nära glas- ytor om värme saknas under dessa.
- Luftvärme är ett kombinerat värme- och ventilationssystem. Möjligheter saknas oftast att separat variera luftflöden och värmetillförseln till respektive rum eller mellan olika rum.

Ombyggnad till elradiatorer och frånluftsventilation. Många luftvärmda hus med FTX-ventilation och återluft byggda under 1980- och 1990-talen har på grund av förorena(n)de ventilationskanaler, dålig termisk komfort och stora regler- och kanalförluster konverterats, *figur 3 på nästa sida*, till frånluftsventilation och elradiatorer, ofta oljefyllda, med oförändrad eller till och med lägre energianvändning trots att värmeåtervinningen har slopats. Detta beror bland annat på ökat gratisvärmeutnyttjande vid värmesystem med radiatortermostater samt mindre regler- och kanalförluster.

"Hus utan värmesystem". Under 1990-talet började så kallade passivhus eller "hus utan värmesystem" byggas och torg-



Figur 3: Ombyggnad av luftvärmesystem till frånluftsventilation och oljefyllda elradiatorer. Uteluftsdonens luftspredande egenskaper är viktiga för komforten.

föras som kroppsvärmehus eller självvärmda hus. Alla hus använder naturligtvis gratisvärme för byggnadsuppvärmning. Sämst på detta är dessvärre passivhusen med luftvärme, som reglerar värmeflödet med en centralt placerad termostad.

Luftvärmesystem utan återluft i passivhus. Luftvärmesystemen har, trots skandalerna under 1980- och 1990-talen, återkommit i en ny skepnad utan återluft, det vill säga som FTX-ventilation med eftervärmning via ett el- eller vattenbatteri i ventilationsvärmeväxlaren. Praktiska erfarenheter och enkla beräkningar visar att värme måste tillföras elbatteriet redan vid några plusgrader ute för att upprätthålla normal inomtemperatur.

Det bästa och i litteraturen dokumenterade passivhusområdet är Lindås Park. Detta utgörs av tjugo stycken tvåplans radhus och är det passivhusområde som hittills uppvisat den lägsta totala energianvändningen för byggnadsuppvärmning, varmvatten och hushållsel. Mängden inköpt el uppgår till 69 kWh/m² år och från solfångarna motsvarande 9 kWh/m² år, summa 78 kWh/m² år eller avrundat till 80 kWh/m² år. Detta är ju uppseendeväckande högt och i nivå med vad som kan uppnås för vanliga serieproducerade småhus, som har frånluftsventilation, vattenradiatorer och frånluftsvarmepump för byggnadsuppvärmning och varmvatten! Passivhusförespråkarna talar ofta om 10 till 12 kWh/m² år som mål för energianvändningen till byggnadsuppvärmning medan verkligheten ofta talar ett annat språk och visar väsentligt högre energianvändning.

Ovan nämnda "allmänna luftvärme-problem" har även konstaterats i Hamn-

huset i Göteborg, *Gervind* (2012). De problem de boende främst besvärar sig av är:

- För kallt på vintern
- För varmt på sommaren
- Matos sprids mellan lägenheterna via den roterande värmeväxlaren
- Draget från tilluftsdonen är irriterande.

Beräknad specifik energianvändning är för byggnadsuppvärmning 12 kWh/m² år, varmvatten 13 kWh/m² år, fastighetsel 35 kWh/m² år och hushållsel cirka 25 kWh/m² år, summa 85 kWh/m² år. Inköpt mängd fjärrvärme till Hamnhuset i Göteborg är 56 kWh/m² år, varav 38 kWh/m² år för byggnadsuppvärmning och 18 kWh/m² år för varmvatten. Solfångare har bidragit med 8 kWh/m² år för uppvärmning av varmvatten. Slutligen uppskattas energi för hushållsel till cirka 25 kWh/m² år och fastighetsel cirka 25 kWh/m² år. Uppmätt specifik total energianvändning uppgår till 114 kWh/m² år, vilket är högt för ett flerbostadshus som energimässigt är byggt på passivhusnivå. Uppmätt specifik total energianvändning är med andra ord cirka 35 procent högre än beräknad.

Radiatorernas uttåg blev intåg i passivhus! Radiatorerna "tågar in" i passivhusen. Luftvärmen marknadsfördes under 1980- och 1990-talen bland annat genom reklamkampanjer som Pilkingtons "Radiatorernas uttåg", figurerna 4 och 5. Paradoxalt nog har kompletteringar med elradiatorer måst göras i många luftvärmda hus byggda under 1980- och 1990-talen

samt även i passivhus. Radiatorerna har blivit "räddningen" för att uppnå tillräcklig termisk komfort.

Sammanfattande slutsatser om luftvärme och extremt tjock isolering. Några tekniska och ekonomiska aspekter på extremt tjock isolering är:

- Åtskilliga passivhus har försetts med extremt tjock isolering som inte ens kan försvaras genom livscykelanalys. För ytterväggar kan detta exemplifieras med att en ökning av isolertjockleken från 290 till 490 mm mineralullsisolering minskar energianvändningen med cirka en procent per år vid antagna livslängden 50 år och perfekt arbetsutförande. Därtill ska läggas kostnader för större byggnadsarea eller mindre boarea liksom att konstruktionen blir dyrare med tjockare isolering.

- Ju större isolertjockleken är desto mindre är uttorkningseffekten med ökad risk för fukt- och mögelskador genom fuktkonvektion, särskilt vid frånlufts-/tillluftsventilation, som lätt kan medföra övertryck inne relativt ute.

- Ju större isolertjockleken är desto viktigare är arbetsutförandet för att det beräknade U-värdet ska nås även i praktiken. Med ökad isolertjocklek och mineralull ökar riskerna för egenkonvektion och nedsättning av isolerförmågan, något som också förstärks av brister i arbetsutförandet och av påtvingad konvektion.

- Miljöutsläppen vid produktion av isolermaterial är betydande och måste beaktas.

Problemen med luftvärme är bland annat energislöseri genom olämplig ström-



Figur 4: Kampanjen "Radiatorernas uttåg". Källa: Pilkington och VVS-Forum nr 3 1988.

RADIATORERNAS UTTÅG

EN TIDNING FRÅN PILKINGTON OM FÖNSTERGLASETS ROLL I VÄRMESYSTEMET



KALLA: PILKINGTON

Figur 5: Kampanjen "Radiatorernas uttåg".

ningsbild och dålig termisk komfort, lågt gratisvärmeutnyttjande med en centralt placerad termostad och dålig inomhusmiljö orsakat av förorenade kanaler. Systemet är underhållsintensivt och kräver täta kanalrensningar och filterbyten. Erfarenheter visar att värme- och ventilationssys-

tem ska vara separata. Många passivhus med luftvärme har kompletterats med elradiatorer för att få tillräcklig komfort särskilt i rum med stora glasytor.

En möjlighet att förbättra inomhusmiljön och energieffektiviteten vid luftvärme är att använda minst en rumsvärmeventila-

tor per utrymme, det vill säga ett aggregat som möjliggör rumsvis behovstyrning av luft- och värmeförseln. Därmed möjliggörs ett högre gratisvärmeutnyttjande och mindre föroreningsrisker då kanal-längden är minimal. Dylika produkter finns på marknaden.

Golvvärme

Vilseledande marknadsföring och fusk med fakta. Golvvärme marknadsförs med vilseledande argument och löften om att man kan hålla 1 till 2 °C lägre inomluftstemperatur och spara 10 till 20 procent energi genom att golvet är varmt. Praktiska undersökningar visar dock att inomluftstemperaturen inte är lägre i hus med golvvärme än med radiatorer. Ingen har heller i praktiken hittills kunnat verifiera någon energibesparing med golvvärme.

Marknadsföringen baseras bland annat på danska undersökningar i laboratorium i ett obettat volymelement och växelvis körning med radiatorer och golvvärme, Olesen & Zöllner (1987) och Olesen (1994). Den undersökta golvkonstruktionen består underifrån sett av betongbjälklag, överliggande isolering och överst golvvärmerören. I Sverige däremot har den vanligaste konstruktionen för golvvärme i platta på mark golvvärmerören placerade nederst i betongplattan och isolering under denna. Det är med andra ord mycket uppseendeväckande att man använt resultaten från de danska undersökningarna för marknadsföringen av golvvärme i Sverige med en radikalt annorlunda golvvärmekonstruktion. Även Persson (2000) har i en rapport belyst dessa frågor kring golvvärme och lågtemperatursystem med mera.

Energislösande lösningar är vanliga.

Traditionellt utformad golvvärme vid platta på mark kännetecknas oftast av dålig isolering av betongplattan och kanten samt stor värmeförlust som ökar energianvändningen och minskar möjligheterna att utnyttja gratisvärmeförlusterna genom golvet ökar dessutom på grund av att golvtemperaturen är högre

än om man inte har golvvärme. Rumsreglering saknas ibland eller sker inte tillräckligt snabbt och noggrant. Å andra sidan är det i första hand golvvärmesystemets värmetröghet som avgör hur snabbt värmetillförseln kan regleras, inte den enskilda termostatens placering och reglernoggrannhet.

Efter 1990-talets intensiva golvvärmedebatt uttalade sig flera experter om att "traditionellt" utformad golvvärme är ett systemfel. Sedan 2004 råder konsensus om att hus med golvvärme alltid har högre energianvändning än motsvarande hus med radiatorsystem. Den totala energianvändningen för byggnadsuppvärmning, varmvatten och hushållsel ökar med 30 procent vid 100 mm isolering, 20 procent vid 200 mm och 10 procent vid 300 mm, *Harrysson* (1997, 2006). Produktionskostnaden för golvvärme är alltid högre än för radiatorsystem.

Allra störst energiökning, cirka 40 procent, har i regel uppstått i äldre hus med källare, när man byter radiatorer mot golvvärme i källaren, *Klittervall* (2012). I sammanhanget kan man ibland höra golvvärmeförespråkarna argumentera för att golvvärme inte behöver så mycket isolering i golvet eftersom "värmen stiger uppåt"! Till detta kommer de ökade riskerna för fuktskador som utförandet kan leda till. Genomförandet sker ofta på delad entreprenad. Sällan har vare sig byggare, rörläggare eller husägare helhetsgrepp och systemtänkande.

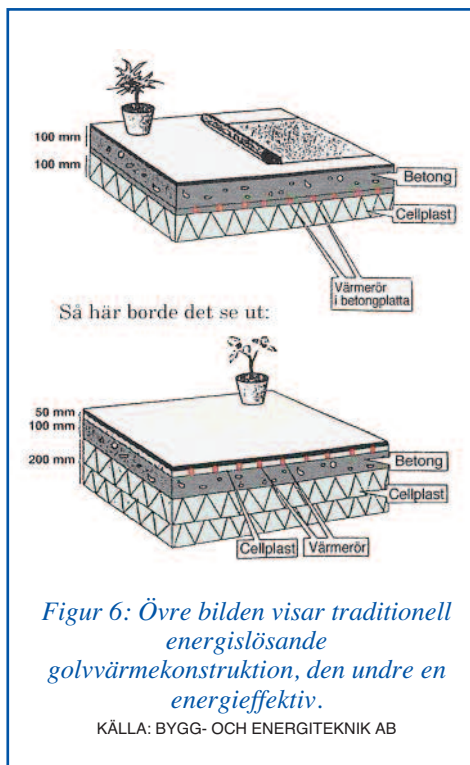
Traditionell golvvärme i platta på mark och underliggande isolering, *figur 6*, har stor värmetröghet. Det kan med nämnda konstruktion ta upp till tio till tolv timmar från det att värme tillförs via rören innan värmeavgivningen sker till rummet. Detta leder till lägre utnyttjande av gratisvärme från solinstrålning, belysning, personer med mera än vid radiatorer med termostater. Övertemperaturproblemen kan ytterligare förvärras om man eldar i braskamin vid mindre lämpliga tillfällen.

Åtgärder för att minska energianvändningen och förbättra komforten i hus med golvvärme består av:

- Öka isoleringen i golvet till minst 300 mm
- Av denna läggs cirka 50 mm på betongplattans översida där rören läggs till exempel i urfräsningar i isoleringen och på värmefördelande plåtar
- Kraftigt förbättrad värmeisolering av betongplattans kanter
- Utetemperaturstyrd framledningstemperatur och termostater i varje rum

Golvvärme drar alltid mer energi än radiatorsystem, som är placerat inomhus, *Gundersen* (1992, 2001).

Energieffektivt och komfortabelt golv. Om man som golvmaterial istället för klinkerplattor väljer trä eller träbaserade produkter och några centimeter cellplastisolering på översidan av betongplattan behövs inte golvvärme från komfortsyn-



punkt. Huvuddelen av isoleringen ska naturligtvis ligga under betongplattan. Man får då ett golv som känns tillräckligt "varmt" och mjukt även utan golvvärme. Såväl produktionskostnad som energianvändning blir avsevärt lägre med radiatorsystem.

Värmepump – Värmebärartemperatur.

I praktiken har hus med golvvärme, beroende på konstruktion och ytmaterial på golvet, föga lägre värmebärartemperatur än radiatorsystem av lågtemperaturtyp och därmed marginell inverkan på värmepumpars energibesparing. Många hus med golvvärmesystem visar sig nämligen i praktiken ha relativt hög värmebärartemperatur beroende på brister i utförande vad gäller placering av värmerören horisontellt och vertikalt samt på injuste-

ringens kvalitet och värmemotståndet hos golvmaterial och eventuell isolering över värmerören. Tjocka golvmaterial och mattor ökar värmemotståndet och därmed värmebärartemperaturen.

Fönster

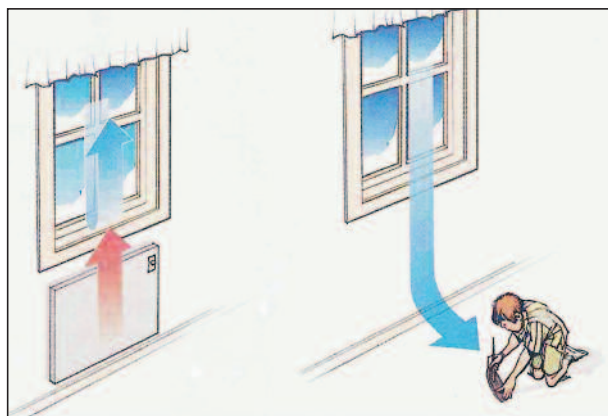
Glasyornas storlek och U-värde har stor inverkan på effekt- och energianvändningen samt på den termiska komforten. Klart är att energi- och effektuttaget ökar med fönsterytans storlek liksom att man får fler komfortstörningar såväl vinter- som sommartid, *figur 7*. Inte minst ökar kylbehovet sommartid med glasyornas storlek, men också beroende på solavskärmningen. Riskerna för kondens på utsidan ökar bland annat ju lägre U-värdet är. Såväl vid golvvärme som vid luftvärme kan kallras- och kallstrålningsproblem förekomma när värmare saknas under fönstren, *figur 8*.

I hus med golvvärme klagar brukarna ofta på drag nära väggventilerna, ibland till och med så långt som ett par meter från dessa. Donens luftspredande egenskaper har stor betydelse för komforten inne. Spaltventiler ska därför undvikas. Komfortstörningar har uppstått i många nya passivhus som saknar värmare under fönstren. Inblåsning av tilluft nära eller i tak i bakkant har lett till besvärande kallras och kallstrålning nära glasytor. I flera husområden har man varit tvungen att komplettera med elradiatorer speciellt under stora fönsterytor till exempel i vardagsrum. Det finns också nya husområden med passivhus där alla utrymmen har måst kompletteras med elradiatorer för att man ska kunna upprätthålla tillräckligt hög termisk komfort.

Med hänsyn till dagsljus anger *Boverkets byggregler* (BBR) (2008) som allmänt råd "att fönsterglasarean är minst tio procent när fönstret har två eller tre klarglas. Glasarean ökas om annat glas med



Figur 7: Radiatorer som komforthöjare vid stora fönsterytor.



Figur 8: Kallrasproblem när värmare saknas under fönster till exempel vid golvvärme eller luftvärme.

KÄLLA: ENERGIMYNDIGHETEN

lägre ljusgenomsläpplighet används eller om byggnadsdelar eller andra byggnader skärmar av dagsljuset mer än 20 procent”. Det är således både tillåtet och möjligt att bygga vackra hus med små fönsterytor.

El eller fjärrvärme?

Elvärmda nya småhus med energiteknisk standard som passivhus eller lågenergi-hus har som lägst en specifik total energianvändning på cirka 80 kWh/m² år, fördelat på summa för byggnadsuppvärmning och varmvatten 55 kWh/m² år och hushållsel, som kan uppskattas till 25 kWh/m² år. Solfångare har i några passivhusområden minskat mängden inköpt energi för varmvatten med cirka 10 kWh/m² år.

Uppgifter finns om att småhus byggda under 1980- och 1990-talen på ordinära villatomter har kulvertförluster på mellan 25 och 40 procent, Persson (2005). För passivhus blir naturligtvis de procentuella förlusterna avsevärt högre. Med så låg specifik total energianvändning som 80 kWh/m² år är därför fjärrvärme föga intressant.

Slutsatser

Riskfyllda lösningar. Erfarenheter från såväl serieproducerade småhus som provhus och ekobyar visar på ökat effektbehov för byggnadsuppvärmning, större energianvändning och komfortproblem vid:

- luftvärme
- golvvärme
- stora glasitor.

Därtill ska för extremt tjock isolering läggas ökade risker för fukt- och mögelproblem i klimatskärmen samt i vinds- och kryputrymmen på grund av fuktkonvektion och högre relativ fuktighet. Riskerna för övertryck inne relativt klimatskärmens utsida är större vid frånlufts-/tilluftsventilation än frånluftsventilation.

Systematisk erfarenhetsåterföring ett måste. Utgångspunkten för all utveckling måste vara att ta lärdom av praktiska erfarenheter från serieproduktion, provhus och ekobyggnader. I annat fall är risken stor för nya inomhusmiljöproblem, byggska-

por, helt eller delvis utebliven energibesparing, liksom oväntat höga livscykelkostnader.

De få undersökningar som gjorts i nya småhus bland annat i Understenshöjden, Bo92, Bo01 och flera passivhusområden visar på nedslående resultat med exempelvis inomhusmiljöproblem, avsevärt högre uppmätt energianvändning än beräknat samt dessutom högre energianvändning än i serieproducerade småhus med vanliga lösningar. Uppföljning av energian-

vändning och inomhusmiljö i nya bebodda och serieproducerade hus har gjorts alltför sällan. Detta gäller särskilt för hus byggda under 2000-talet samt för många äldre hus efter ombyggnad med olika energisparåtgärder.

För att bättre och enklare kunna jämföra olika lösningar och husområden bör såväl delposterna för byggnadsuppvärmning, varmvatten, fastighetsel och hushållsel som deras summa redovisas. Boverkets byggreglers krav på uppföljning och installation av särskild mätutrustning är ett steg i rätt riktning och underlättar framtida uppbyggnad av en kunskapsbank.

Helhetsgrepp och systemtänkande. Det finns många duktiga specialister inom byggprocessens olika delområden. Men, ska byggnaders energianvändning radikalt kunna minskas måste man applicera en metodik som bygger på helhetsgrepp och systemtänkande. Detta gäller såväl för befintliga hus som nya hus. Undersökningar av byggnaders energianvändning kräver tvärfackliga kunskaper inom många områden: arkitektur, byggt teknik, energi, värme, ventilation, styr- och reglersystem, distributions- och kulvertförluster samt om produktionsprocessen och boendevanor.

Det bästa och mest tillförlitliga sättet för att nå låg energianvändning och god inomhusmiljö till låg livscykelkostnad är att satsa på enkla, beprövade och lättsköta lösningar för projektörer, byggare, förvaltare och boende. Utgå från de goda lösningar som fungerar i serieproducerade hus och förbättra dessa för att på så sätt komma ner i nivå med de energisnålaste passivhus som byggts till exempel området Lindås Park. Det är bättre att vidareutveckla goda lösningar än att ”uppfinna hjulet” på nytt. Kunskaper finns, men används inte i tillräcklig utsträckning.

Rätt val av teknisk lösning tillsammans med noggrant arbetsutförande för isolering och tätningar samt injustering av värme- och ventilationssystemen kan, jämfört med den genomsnittliga energianvändningen i nya småhus, betyda upp till 30 procent lägre total energianvändning,

förbättrad inomhusmiljö och lägre livscykelkostnad. Och detta kan ske utan ökade skaderisker. Därför är det angeläget att klassificera olika lösningar och kvantifiera tillhörande egenskaper till exempel från energi- och inomhusmiljösynpunkt.

Byggprocessen/garantier/byggsäkerhet. Totalentreprenad, det vill säga en motpart som ansvarar för hela byggprocessen när man bygger småhus, är att föredra liksom att större delen av produktionen sker inomhus under kontrollerade former (fabrikstillverkning) för att minimera fukt- och mögelproblem samt uppnå högsta kvalitet. Företag som även greppar grundläggningsarbetena förefaller totalt sett ha mindre byggsfel. Särskilt viktigt är att den kontrollansvarige och besiktningsmannen inte har någon koppling till vare sig försäkringsbolaget eller trähus-/byggföretaget. Detta är dessvärre något som ofta förekommer när försäkringen tecknas hos Gar-Bo och Byggnadsgaranti. Tyvärr måste alla hus utom ”självybyggda” ha byggsäkerhetsförsäkring. Men, troligen är en lagändring på gång.

Väldokumenterad god lösning. En väldokumenterad och god lösning karakteriseras av cirka 300 mm högvärdig isolering som mineralull eller cellplast i yttervägg, cirka 300 mm i golv och cirka 500 mm i tak, vattenradiatorer med termostater samt värmeåtervinning med frånluftsvarmepump för byggnadsuppvärmning och varmvatten. Praktiska undersökningar visar att radiatorer med termostater håller betydligt jämnare innetemperatur än golvvärme och luftvärme. Tillsammans med noggrant utförande av isolering och tätningar samt injustering av värme- och ventilationssystemen kan genomsnittlig specifik total energianvändning, summa för byggnadsuppvärmning, varmvatten och hushållsel för nya småhus därmed minskas med cirka 30 procent till 80 kWh/m² år, det vill säga i nivå med de bästa passivhus som har byggts och finns dokumenterade i litteraturen. ■

Referenser

- Ahnland, R (1996). *Luftvärme. Är argumenten för luftvärme ett önsketänkande? Praktiken visar på både ohälsa, dåligt inomklimat och höga driftkostnader.* Eget förlag, Västerås.
- Bengtsson, U (2000). *Ekoby blev energislösare.* Byggindustrin 16/2000, Stockholm.
- Blomsterberg, Å & Stadler, C-G (1985). *Välisolerade småhus med luftburen värme. Utvärdering av två småhus i Skultorp.* SP, Rapport 1985:42, Borås.
- Boström, T et al (2003). *Tvärvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg.* Linköpings universitet, Program Energisystem, Arbetsnotat Nr 25, Februari 2003, Linköping. ISSN 1403-8307.

- Boverket (2008). *Regelsamling för byggande, BBR*. Boverket, Publikationsservice, Karlskrona.
- Cajdert, A (1999). *Bo92 – ett slag i luften?* Bok om luftvärme får debattör att minnas bostadsmässan i Örebro. VVS-Forum, nr 2, 1999. Stockholm (Uppsatsen är även publicerad i boken "Byggande med kunskap och moral").
- Cajdert, A red (2000). *Byggande med kunskap och moral. En debattskrift om sjuka hus, miljögifter och forskningsetik*. Örebro universitet, nr 1, Örebro. ISBN 91-7668-246-3.
- Ekström, L (2013). Personlig kommunikation, Göteborg.
- Energimyndigheten (2012). *Energistatistik för småhus 2011*. Statens energimyndighet, ES 2012:04, Eskilstuna.
- Gervind, P (2012). *Resultat från mätningar i lågenergihuset Hamnhuset under ett år*. Samhällsbyggaren, nr 2, 2012, Stockholm.
- Gundersen, P (1992). *Miljövennlige rimelige lavenergiboliger*. NBI, Prosjektrapport 105-1992, Oslo.
- Gundersen, P (2001). *Nyanser i golvvarmedebatten*. Bygg & teknik 2/01, sid 56–57, Stockholm.
- Harrysson, C (1988). *Småhusets energisättning. Analys med särskild hänsyn till ingående delposters variationer*. CTH, Avd för byggnadskonstruktion, Doktorsavhandling, Publ 88:2, Göteborg.
- Harrysson, C (1994). *Innemiljö och energianvändning i småhus med elvärme. Enkätundersökning och mätningar i 330 gruppbyggda småhus med olika systemlösningar*. Boverket, Publikationsservice, Rapport 1994:8, Karlskrona. ISBN 1104-5671.
- Harrysson, C (1997). *Golvvärme eller radiatorssystem i småhus? Registrering av el-, gas- och vattenanvändning. Värdering genom praktiska mätningar enligt förlustfaktormetoden*. Bygg- och Energiteknik AB, Falkenberg.
- Harrysson, C (2006). *Husdoktorn går ronden. En bok om sjuka hus och drabbade människor*. Bygg- och Energiteknik AB, Falkenberg. ISBN-10 91-631-9272-1, ISBN-13 978-91-631-9272-2.
- Harrysson, C (2009). *Variationer i energianvändning och inommiljö kvalitet. Erfarenheter och rekommendationer*. Örebro universitet, Studies from School of Science and Technology, Nr 5, June 2009, Örebro. Rapporten kan laddas ner som pdf-fil på www.oru.se/nt.
- Harrysson, C (2010). *Erfarenheter och rekommendationer: Variationer i energianvändning och inommiljö kvalitet hos flerbostadshus med olika tekniska lösningar*. Bygg & teknik 2/10, Stockholm.
- Klittervall, T (2012, 2013). Personlig kommunikation, Södra Sandby.
- Mataki (2003). *Fuktens väg. Om fukt i väggar och tak*. Trelleborg Building Systems AB, Koloriten Helsingborg. ISBN 91-974764-0-4.
- Olesen, B & Zöllner, G (1987). *Experimentelle Untersuchung zum Energieverbrauch unterschiedlicher Heizsysteme bei untereinander vergleichbarer thermischer Behaglichkeit*. 9th Internationaler Velta Kongress. Velta, Nordestedt, Deutschland.
- Olesen, B (1994). *Comparative Experimental Study of Performance of Radiant Floor-Heating Systems and a Wall Panel Heating under Dynamic Conditions*. ASHRAE Transactions Symposia 1994, Vol 100, Part 1, No 94-13-2.
- Persson, T (2000). *Lågtemperatursystem – en kunskapsöversikt*. Högskolan i Dalarna, Centrum för solenergiforskning, EKOS, Borlänge. ISSN 1401-7555, ISRN DU-SERC--67--SE.
- Persson, T (2005). *District Heating for Residential Areas with Single Family Housing – with Special Emphasis on Domestic Hot Water Comfort*. Lund Institute of Technology, Division of Energy Economics and Planning, Department of Heat and Power Engineering, Doctoral Thesis, Lund. ISBN 91-628-6504-8.
- Rockwool (1986). *Hur långt kan uppvärmningsbehovet isoleras bort? Redovisning av erfarenheter från två väl isolerade experimenthus med luftburen värme*. Rockwool AB, Byggprodukter, Skövde.
- Ruud, S & Lundin, L (2004). *Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem – resultat från två års mätningar*. SP, Rapport 2004:31, Borås. ISBN 91-85303-07-0, ISSN 0284-5172.
- SCB (2012). *Bostads- och byggnadsstatistisk årsbok 2012*. Statistiska Centralbyrån, Örebro. ISBN 978-91-618-1560-9.
- Sörensen, S E (1981). *Energibesparing ved etterisolering av småhus*. NBI, særtryck 267, Oslo.